

# 沃川系 흡우라늄 炭質岩中の 우라늄의 存在狀態와 鑛物種

李 旼 成\* · 金 相 旭\*\*

## Uranium Distribution Patterns and U-mineral in the U-bearing Coaly Slate of Ogcheon System

Min Sung Lee and Sang Wook Kim

**Abstract:** The radioautographing of U-bearing coaly slate samples were initiated in order to clarify the uranium distribution patterns in the samples of Ogcheon system. Moreover, x-ray powder diffraction and x-ray single crystal analysis studies were undertaken to identify the uranium mineral which was extracted from U-bearing coaly slate. The handspecimens were collected from the Boseong mine, located in Deokpyeong area, Goesan-gun, Chungcheongbug-do. According to the experimental studies, it has been found the following facts: (1) fixed carbon has close relation with uranium contents, (2) quartz veins developed in U-bearing coaly slate are divided into two groups based on mode of occurrence, formation stage and uranium distribution pattern; early quartz vein (QV<sub>1</sub>) with low uranium concentration and late quartz vein (QV<sub>2</sub>) with high uranium concentration, (3) matrixes around QV<sub>1</sub> are displayed homogeneous and high uranium concentration, while matrixes around QV<sub>2</sub> are low uranium concentration, (4) uranium mineral is identified as a variety of autunite.

### 序 論

우리나라에 核燃料 鑛物인 우라늄과 토륨을 含有하는 鑛物이 알려진 것은 1910年代부터 이다. 그러나 核燃料鑛物資源에 대한 調査 研究는 1956年頃부터 主로 우리나라 地質調査所에 의해 이루어 졌으며, 그후 1970年代에 이르러 國內 原子力發電所 增設 計劃이 樹立되고 이에 따라 우라늄 探査 16個年 事業이 計劃되면서 主要 事業으로 推進하게 되었다. 이동안 여러 사람에 의해 우라늄의 賦存 可能 地域, 우라늄의 產出 狀態, 우라늄 鑛物의 記載 및 우라늄의 地球化學등에 대한 調査研究가 이루어져 왔으나, 鑛石中에 있어서의 우라늄의 存在狀態에 대한 具體的인 實驗研究는 이루어지지 않았었다.

이번 研究에서는 沃川系 地層의 分布 地域中 우라늄 成分이 가장 富化된 地帶로 알려진 忠淸北道 槐山郡 德坪里 地區에 開設된 探鑛 坑道內에서 採取한 우라늄 鑛石中 몇個의 代表 試料를 선택, 우라늄의 胚胎 狀態를 autoradiograph 撮影 實驗을 통하여 밝히고자 하였

으며 또한 鑛石中の 우라늄의 鑛物種을 同定하기 위하여 X線 廻折 實驗을 하였다.

### 材料 및 方法

본 研究에 提供된 試料는 德坪里 地區에 있는 보성 鑛山에 開設된 探鑛 坑道內에서 採取된 흡우라늄 黑色 炭質 泥質岩이다. 本岩은 李鍾革(1972)에 의해 九龍山 層으로 命名된 地層內의 黑色 粘板岩中에 挾在된 炭質 帶에 屬한다.

李鍾革(1972)은 槐山 地質圖幅 說明書에서 沃川層群의 北部 分布 地域에서 西倉里層(李旼成·朴奉淳, 1965)으로 命名되고 南部 地域에서는 倉里層(金玉準, 1970)으로 命名된 地層과 對比되는 九龍山 一圓에 花田里層을 整合으로 덮고 分布하는 炭質物帶를 含有한 低變成 堆積岩層을 九龍山層이라고 命名 하였다. 構成 岩石은 黑色粘板岩, 點紋狀~非點紋狀 綠泥岩, 絹雲母 片岩, 暗灰色 石灰質岩, 角閃石 片岩, 그리고 下部에 挾在되는 結晶質 石灰岩 등이다.

供試된 鑛石은

① 採取한 試料中 相對的으로 炭質物이 상당히 많이 含有되고 石英 細脈이 많이 發達된 것(Photo 1-a, 1-b

\* 서울大學校 地球科學教育科

\*\* 慶北大學校 地質學科

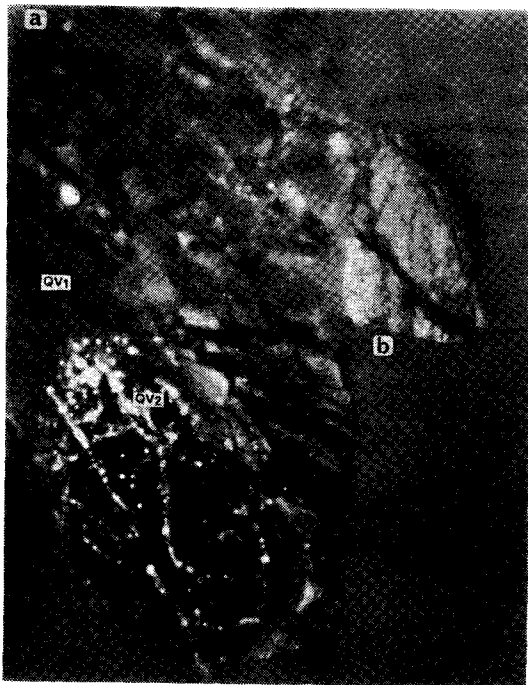


Photo 1

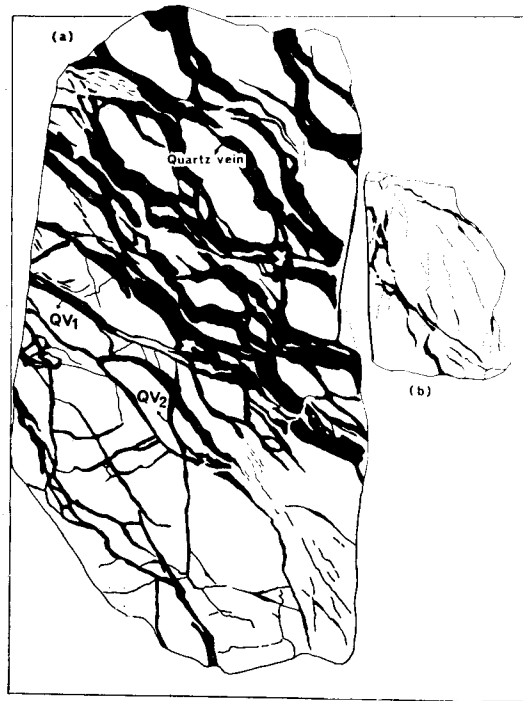


Fig. 1 Sketch of Photo 1.

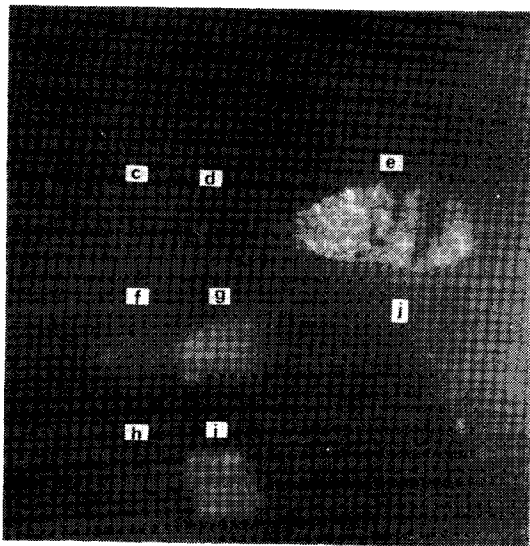


photo 2

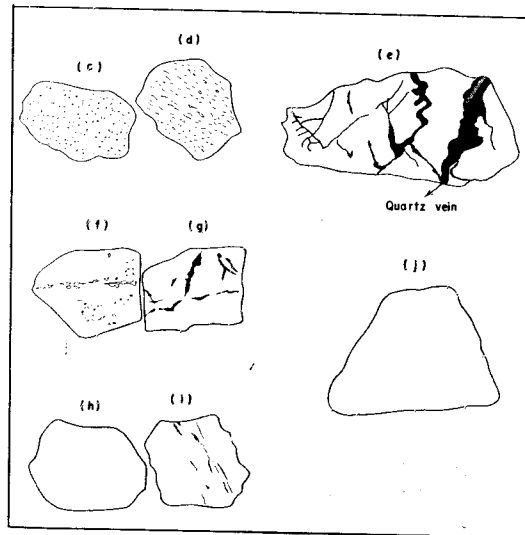


Fig. 2 Sketch of Photo 2.

및 Fig. 1-a, 1-b),

② 炭質物의 含量이 아주 높고 石英 細脈이 많이 發達된 것 (Photo 1-b Fig. 1-b),

③ 炭質物이 中間 程度이고 石英 細脈이 發達된 것 (Photo 2-g, 2-i 및 Fig. 2-g, 2-i),

④ 炭質物의 含量이 적고 黃化物이 많이 包含된 것

(Photo 2-c, 2-d, 2-f 및 Fig. 2-c, 2-d, 2-f),

⑤ 炭質物의 含量이 적고 石英脈이나 黃化物의 存在가 거의 確認되지 않은 것 (Photo 2-h, 2-i 및 Fig. 2-h, 2-i),

등으로 分類하였다. 그리고 이들의 炭質物의 含量, 石英脈의 發達 狀況, 黃化物의 含量 등과 우리들의 存

在와의 相關 關係 및 存在 狀態를 檢討하기 위하여 試料를 任意의 面을 따라 切斷하고 切斷面을 研磨한 후, 研磨面에 X線 寫眞 乾板을 密着시켜 數日 이상 autoradiograph 撮影을 하였다.

### 우라늄의 存在 狀態

撮影한 各 autoradiograph 寫眞(各 寫眞마다 石英 細脈의 注入 狀態를 스캐치한 그림, Fig. 1 및 2)과 이로부터 밝혀진 우라늄의 存在 狀態를 說明하면 다음과 같다.

#### (1) Photo 1-a 및 Photo 2-e

이 試料는 炭質物의 含量이 상당히 높고 comb structure를 한 石英 細脈이 發達되어 있다. Photo 1-a에서의 石英脈은 2種으로 區分된다. 하나는 大體로 3mm 이상의 幅을 갖는 脈이고 다른 하나는 3mm未滿의 幅을 갖는 것인데 後者가 前者를 切斷하는 部分이 보인다. 여기서는 前者를 QV<sub>1</sub>으로 後者를 QV<sub>2</sub>로 記號를 써서 說明한다.

QV<sub>1</sub>脈이 많이 發達된 炭質物이 含有된 基質部에는 우라늄이 比較的 均質하게 分布되어 있고 QV<sub>2</sub>脈이 發達된 脈周邊의 炭質物이 含有된 基質部에는 우라늄의 含量은 매우 낮은 반면 QV<sub>2</sub>脈에는 濃集된 우라늄 斑點이 密集 分布되어 있는 것을 볼 수 있다(Photo 1).

이러한 우라늄의 存在 狀態의 現象이 일어나는 可能性으로서는

① 炭質物에 同生的(syngenetic)으로 均質하게 吸着되어 있던 우라늄이 後期에 QV<sub>2</sub>脈이 形成되는 期間에 基地에 存在했던 우라늄이 QV<sub>2</sub>脈中에 2次的으로 移動 濃集된데 起因할 수 있을 것이며,

② 前期의 QV<sub>1</sub>脈의 形成時에 後生的(epigenetic)으로 우라늄의 鑛化作用이 일어나 炭質物 基質部에 均質하게 沈澱되었던 우라늄이 QV<sub>2</sub>脈의 發達過程에서 再濃集된 것으로도 해석될 수 있을 것이다.

따라서 우라늄의 初生的인 起源을 說明할 수 있는 證據는 찾을 수 없으며 QV<sub>2</sub>脈內에 濃集된 우라늄은 2次的으로 移動했을 可能性이 크므로 後期에 있었던 熱水作用이 우라늄을 移動시킬 수 있었다고 設想될 수 있다.

Photo 2-e의 경우, 우라늄은 石英脈에 隨伴되지 않고 炭質物內에만 均等하게 分布되며 작은 우라늄의 濃集點도 약간 나타난다. Photo 1-a의 上左部의 石英脈과 含炭質部와의 境界가 分명한 것은 試料의 研磨時 comb structure의 石英細脈이 떨어져 나가 흠이 파인 關係로 炭質部에 含有되는 우라늄에 의해 發散되는 螢光으로 感光되었기 때문이다. 石英脈과 炭質部가 고르

게 研磨된 部分은 上左部에서 잘 볼 수 있다. 그리고 寫眞 바탕이 感光된 것은 大氣中の background가 아니고 試料를 넣은 撮影裝置 內部的 background가 全體의 으로 높기 때문이다(Photo 1-a 및 2-e).

#### (2) Photo 1-b

炭質物의 含量이 아주 높으면서도 石英 細脈이 많이 發達된 試料에 대한 寫眞이다. 石英 細脈에는 우라늄이 含有되어 있지 않으나 炭質部에는 Photo 1-a나 2-e의 것보다 많은 우라늄이 均質하게 含有되어 있다. 이 試料에 發達하는 石英脈도 comb structure를 나타내며 幅도 3mm 未滿이지만, 石英脈內에 濃集된 우라늄 斑點이 없는 것으로보아 炭質 基質部內에 包含되어 있는 우라늄을 移動시키지 못한 것으로 보이는데 이는 Photo 1-a의 QV<sub>2</sub>脈의 경우와는 다르다.

#### (3) Photo 2-g 및 2-i

이 試料는 炭質物의 含量이 中間 程度이고 石英 細脈은 많이 發達되어 있는 것이다. 影相은 흐리나 Photo 1-b의 경우와 마찬가지로 石英脈에 우라늄이 濃集되지 않고 炭質의 基質部에 均質하게 分散되어 있음을 보여 준다(Photo 2 g, i 및 Fig. 2-g, i).

#### (4) Photo 2-c, 2-d 및 2-f

이들은 모두 炭質物의 含量이 적고 黃化物(主로 黃鐵石)이 多量含有된 試料에 대한 寫眞이다. 다만 Photo 2-c에서는 黃化物이 0.01mm 未滿의 微粒狀으로 鑛染되어 있고, Photo 2-d의 경우는 長徑 2mm의 것도 흔히 나타나는데 斑晶狀으로 鑛染되어 있다. 그리고 Photo 2-e의 경우에는 黃鐵石 細脈도 함께 發達되어 黃化物의 胚胎 樣相에 差異가 있을 뿐이다. 이들에 는 우라늄이 거의 含有되지 않음을 알 수 있어서 黃化物의 鑛化作用과 우라늄의 鑛化作用은 關係가 없음을 強力히 示唆한다 (Photo 2-c, d, f 및 Fig. 2-c, d, f).

#### (5) Photo 2-h 및 2-i

이 寫眞은 炭質物의 含量이 적고 石英脈이나 黃化物이 含有되지 않은 試料에 대한 것이다. 우라늄의 含量은 無視될 程度인데, 이 理由는 fixed carbon의 含量이 낮아서인지 또는 石英脈이 發達되지 않아서인지 確實치 않다.

### 含우라늄 炭質岩中の 우라늄鑛物에 대한 X線 結晶構造 解析

採取된 우라늄 鑛石中の 우라늄 鑛物을 X線 粉末廻折 方法을 써서 同定코져 하였다. 鑛石中の 우라늄 鑛物의 含量은 少量이고 微粒이어서 肉眼으로는 識別이 어려우므로 mineral light를 비추어서 黃綠色 螢光을 強하게 發하는 部位를 굽어 모아 試料로 使用하였다.

Table 1 X-ray diffraction data of U-mineral.

$hkl$	$*d=1/\sqrt{\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}}$	$hkl$	$*d=1/\sqrt{\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}}$	$hkl$	$*d=1/\sqrt{\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}}$
001	9.230	011	3.368	020	1.809
100	7.228	201	3.365	120	1.755
101	5.691	110	3.235	022	1.684
002	4.615	111	3.053	122	1.640
102	3.890	202	2.845	220	1.618
010	3.618	211	2.464	222	1.527
200	3.614	212	2.237		

$$* a=7.228 \text{ \AA} \quad b=3.618 \text{ \AA} \quad c=9.230 \text{ \AA}$$

粉末試料를 Rigaku X-ray powder diffractometer (3kv)를 사용하여 chart에 廻折記錄하여 解析하였다. 粉末 廻折 記錄 chart에 나타난 鑛物은 石英과 우라늄 鑛物로 推定되는 鑛種이나 同定이 困難하여 單結晶 X線攝影을 하였다. 單結晶 寫眞은 Rigaku Weissenberg Camera (Cu-K $\alpha$ , Ni-filter, 35kv, 17mA)로 rotation film, Weissenberg 0次 및 1次線을 얻어 格子 常數  $a=7.228\text{\AA}$ ,  $b=3.618\text{\AA}$ ,  $c=9.23\text{\AA}$ 과 空間群  $P_{2221}$ 을 算出하였다. 以上の 結果로 計算한  $d$ 값은 Table 1과 같다. 이 計算값  $d$ 에 의하여 우라늄 鑛物에 대한 粉末廻折 chart를 解析하였다. 現在까지 알려진 우라늄 鑛物의 結晶學의 資料와 比較 檢討한 結果正確한 同一 鑛種은 發見하지 못하였으나 正方晶系인  $VO_4$ 를 含有한 autunite의 變種으로 推定된다.

### 結果 및 考察

(1) Fixed carbon과 우라늄과는 良好한 相關關係를 나타내고 있다. 그러나 이들 우라늄 含量이 높은 試料에서는 항상 石英이 發達되기 때문에 이들 우라늄이 一次의으로 carbon에 吸着된 것인지 아니면 石英脈의 注入과 關連되어 富化된 것인지는 아직 알 수 없다. 다시말하면, 石英脈이 우라늄 富化作用에 미친 影響에 대해서는 判斷할 수 있는 證據를 찾을 수 없다는 點이다. 이 問題를 解決하기 위하여 앞으로 carbon 含量이 많고 石英 細脈이 發達되지 않은 試料과 石英脈의 發達이 良好하고 carbon 含量이 아주 적은 試料에 대해서 撮影한다면 보다 有用한 資料를 얻을 수 있는 것으로 생각된다. 만일, 野外에서 carbon의 含量이 매우 많고 石英脈이 發達되지 않은 試料를 採取할 수 없다면, 이들 石英脈은 低品位의 炭質層內에서 segregation에 의해 形成되었을 可能이 매우 커질 것이고 또한 우라늄은 炭質의 形成과 同時에 沈澱된 것으로 보는 것

이 妥當하게 될 것이다.

(2) 우라늄은 黃化物의 鑛化作用과는 關係가 없음을 알 수 있다. 단, 이 黃化物이 堆積 起源의 生成物인가에 대해서도 檢討되어야 할 것이다.

(3) 石英 細脈은 前期(QV<sub>1</sub>)와 後期(QV<sub>2</sub>)의 두 時期에 걸쳐 形成되었으며 後期の 細脈(QV<sub>2</sub>)이 沈澱할 때에 우라늄의 擴散이 活發했음을 알 수 있다.

(4) 石英 細脈의 形成이 segregation에 起因 했다면 構造의으로 tension crack이나 joint의 發達에 의한 規制를 받았을 것이다. 따라서 앞으로 鑛石을 含有하는 地層內의 微少構造解析을 하고 鑛石中의 石英脈의 發達樣相과를 比較 檢討해야 할 것이다.

(5) 鑛石中의 우라늄 鑛物種은 X線 粉末 廻折 및 單結晶 X線 廻折 解析에 의하면 autunite의 變種으로 推定되나 앞으로 結晶도가 크고 良好한 單結晶 試料를 採取하여 보다 正確한 記載를 하여야 할 것이다.

### 謝 辭

本 實驗 研究를 遂行함에 있어 鑛石中의 우라늄 鑛物의 記載를 위한 單結晶 X線 解析은 서울大學校 工科學科 無機材料工學科 鄭秀鎮教授의 도움을 받았다. 이에 깊은 謝意를 表한다. 또한 autoradiograph 寫眞의 스킷치와 X線 chart의 製圖에 手苦한 서울大學校 大學院 科學教育科의 金完燮院生에게 感謝한다.

### 參 考 文 獻

- 金玉準(1970) 韓國 中部地域의 地質과 地構造. 鑛山地質, 第2卷, p. 73-90.
- 李政成·朴奉淳(1965) 黃江里 地質圖幅 및 說明書. 國立地質調查所.
- 李鍾革·金貞煥(1972) 槐山 地質圖幅 및 說明書. 國立地質調查所.

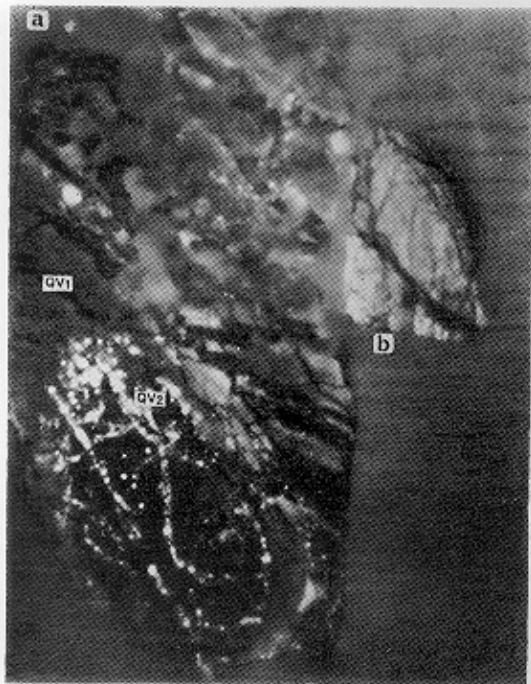


Photo 1

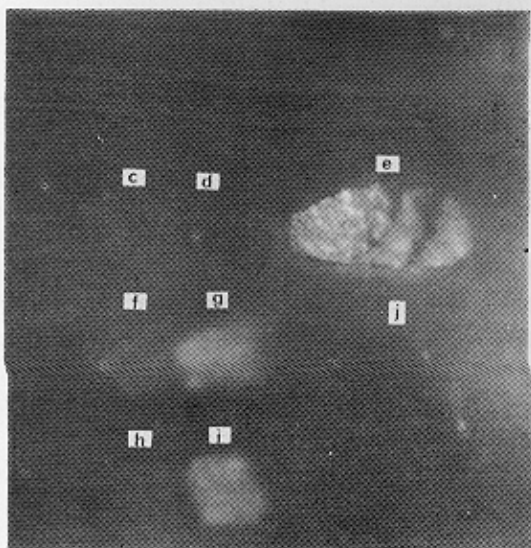


Photo 2